Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 3, Fall 2023, p. 347-361

Effects of Nanoparticles (Zinc and Silicon) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield, Photosynthetic Pigments and Grain Filling Components of *Triticale* under Salinity Stress

Z. Mohammadzadeh[1*], R. Seyed Sharifi[2], S. Farzaneh[3]

Received: 25 February 2023 Revised: 02 April 2023 Accepted: 09 April 2023	**How to cite this article:** Mohammadzadeh, Z., Seyed sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). Effects of Nanoparticles (Zinc and Silicon) and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on Yield, Photosynthetic Pigments and Grain Filling Components of *Triticale* under Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *21*(3), 347-361. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81343.1231

Introduction

Salinity stands as a significant environmental stressor that profoundly curtails the growth and yield of crop plants. This adversity also extends to the impairment of pigments and plastids, leading to diminished chlorophyll indices, rates, and grain-filling durations. To counteract the deleterious impact of such stressors on plant growth, a spectrum of strategies has been devised. Prominent among these strategies are plant growth-promoting rhizobacteria, exemplified by azospirillum, and the utilization of nanoparticles like zinc and silicon. These factors play a pivotal role in elevating yield outcomes. Zinc's pivotal involvement spans protein metabolism, photosynthetic activities, and diverse physiological traits within plants. Particularly noteworthy is its contribution to rectifying zinc deficiency, a particularly critical concern in plants cultivated in high-pH soils. Notably, recent research has illuminated the potential of applying minute quantities of micronutrients, notably zinc via foliar spraying, in bolstering plant resilience against salt stress. Likewise, silicon emerges as a supplemental micronutrient that imparts heightened resistance to environmental stresses, fostering increased resilience within biological systems. Therefore, this study aimed to evaluate the effects of application of plant growth-promoting rhizobacteria and nanoparticles (zinc and silicon) on the yield, photosynthetic pigments, and filling components of triticale grain under salt stress.

Materials and Methods

This experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications in greenhouse research of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili in 2022. Factors experimental included salinity at three levels (no salinity as control, application of 60, 120 mM salinity) by NaCl, application of PGPR at two levels (no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*), and foliar application of nanoparticles at four levels (foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano zinc oxide, foliar application 50 $mg.L^{-1}$ nano silicon, foliar application both of nano zinc oxide (0.4 $g.L^{-1}$) and nano silicon (25 $mg.L^{-1}$). The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were 1×10^7 bacteria per milliliter (10^7 $cfu.ml^{-1}$). A two-part linear model was used to quantify the grain-filling parameters. In this study, grain dry weight and number were

1- M.Sc. in Seed Science and Technology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran
2- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of. Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardebili, Ardebil, Iran
(*- Corresponding Author Email: zahra.mhz9812@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81343.1231

used to calculate the average grain weight for each sample. Total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases}$$

where GW is the grain dry weight; a, the GW-intercept; b, the slope of grain weight indicating grain filling rate; t, the days after earring; and t_0, physiological maturity. The effective grain filling period (EGFD) was calculated from the following equation:

EGFD = the highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day^{-1}).

Results and Discussion

The results showed that application of *Azospirillium* and foliar application of nano zinc-silicon oxide under no salinity increased chlorophyll a (38.42%), chlorophyll b (41.76%), total chlorophyll (39.39%), carotenoids (53.99%), root weight (62.61%), grain filling rate (16.37%), grain filling period and effective grain filling period (21.28 and 29.78%) and grain yield (47.23%) in compared to no application of *Azospirillium* and nanoparticles under 120 mM salinity. Application of *Azospirillium* and foliar application nano zinc-silicon oxide under 60 mM salinity also increased chlorophyll a (31.4%), chlorophyll b (34.35%), total chlorophyll (32%), carotenoids (45.68%), root weight (57.14%), grain filling rate (15.21%), grain filling period and effective grain filling period (21.29 and 28.16%) and grain yield (35.67%) in compared to the application of *Azospirillium* and nanoparticles under 120 mM salinity. According to this study, application of *Azospirillium* and nanoparticles (zinc and silicon) can increase yield of triticale grain under salinity stress such as no salinity due to the improvement of photosynthetic pigments content and grain filling components.

Keywords: *Azospirillium*, Chlorophyll content, Grain filling period, Root weight

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص ۳٦۱-۳٤۷

تاثیر نانوذرات (روی و سیلیکون) و *آزوسپریلیوم* بر رنگدانه‌های فتوسنتزی و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله تحت تنش شوری

زهرا محمدزاده[1*]، رئوف سیدشریفی[2]، سلیم فرزانه[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

چکیده

کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذراتی مانند روی و سیلیکون می‌تواند مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی همانند شوری را افزایش دهد. از این‌رو آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل تنش شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با استفاده از نمک کلرید سدیم، کاربرد باکتری محرک رشد در دو سطح (عدم تلقیح بذر به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*)، محلول‌پاشی با نانو ذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. نتایج نشان داد که کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانواکسید روی و سیلیکون تحت شرایط عدم اعمال شوری، محتوای کلروفیل a (۳۸/۴۲٪)، کلروفیل b (۴۱/۷۶٪)، کلروفیل کل (۳۹/۳۹٪)، کارتنوئید (۵۳/۹۹٪)، وزن ریشه (۶۲/۶۱٪)، سرعت پرشدن دانه (۱۶/۳۷٪)، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه (به‌ترتیب ۲۱/۲۸ و ۲۹/۷۸٪) و عملکرد دانه (۴۷/۲۳٪) را نسبت به شرایط عدم کاربرد *آزوسپریلیوم* و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار افزایش داد. همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار، محتوای کلروفیل a (۳۱/۴٪)، کلروفیل b (۳۴/۳۵٪)، کلروفیل کل (۳۲٪)، کارتنوئید (۴۵/۶۸٪)، وزن ریشه (۵۷/۱۴٪)، سرعت پرشدن دانه (۱۵/۲۱٪)، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه (به‌ترتیب ۲۱/۱۹ و ۲۸/۶۲٪) و عملکرد دانه (۳۵/۶۷٪) نسبت به سطح شوری ۱۲۰میلی‌مولار افزایش داد. بر اساس این نتایج، کاربرد *آزوسپریلیوم* و نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط تنش شوری همانند شرایط عدم اعمال شوری می‌تواند با بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و مولفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه تریتیکاله را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: *آزوسپریلیوم*، طول دوره پر شدن دانه، محتوای کلروفیل، وزن ریشه

مقدمه

تریتیکاله (*X Triticosecale wittmack*) به‌عنوان نخستین غله دانه‌ریز است که توسط انسان از تلاقی گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان والد مادری و چاودار (*Secale cereale* L.) به‌عنوان والد پدری به‌وجود آمده است تا خصوصیات عملکردی گندم و کیفیت دانه و مقاومت به بیماری‌ها و تنش‌های محیطی چاودار، در یک گیاه ظهور پیدا کند (Bezabih, Girmay, & Lakewu, 2019). براساس آمار فائو، سطح زیر کشت و تولید جهانی تریتیکاله به‌ترتیب معادل ۴/۱۷ میلیون هکتار و ۱۵/۵۶ میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2017) و سطح زیر کشت آن در ایران بیش از ۱۶۰۰۰ هزار هکتار است (Ansari, Mirmohammady Maibody, Arzani, & Golkar, 2018). ترکیبات شیمیایی و کیفیت غذایی آن مشابه گندم و چاودار است. در مناطقی که به‌دلیل بیماری‌ها و یا شرایط نامساعد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و تکنولوژی بذر، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: zahra.mhz9812@gmail.com)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2023.81343.1231

خاکی، تولید گندم دارای محدودیت است، تریتیکاله یک محصول زراعی جایگزین محسوب می‌شود (Leon, Rubielo, & Anon, 1996). تریتیکاله به دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی سازگاری دارد، همین مساله موجب شده است که به‌عنوان یک گیاه شاخص در میان غلات معرفی شود. در عین حال در شرایط نامساعدی مانند کمی بارندگی، غیرحاصلخیزی و سرد بودن خاک، بالا بودن غلظت آلومینیوم در خاک و در مناطقی که شیوع بیماری‌های مختلف، زراعت سایر غلات را محدود می‌کند، می‌تواند جانشین غلات دانه ریز سردسیری شده و از کارایی مصرف آب بالاتری در مقایسه با گندم برخوردار است (Shakouri & Kermanshahi, 2007).

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی موثر در کاهش عملکرد گیاهان زراعی و به‌عنوان خطری جدی در تولید پایدار گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. شوری همچنین با ایجاد تنش اکسیداتیو و برهم زدن تعادل یونی و هورمونی، رشد و فتوسنتز، روابط آبی گیاه، فعالیت‌های آنزیمی، جذب عناصر غذایی و عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Seleiman *et al*., 2021).

یکی از راه‌کارهای موثر در بهبود مقاومت گیاهان به شرایط شوری، کاربرد باکتری‌های محرک رشدی[1] همانند *آزوسپریلیوم*[2] است (Seyed Sharifi & Namvar, 2016) که با بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی، موجب بهبود مولفه‌های پر شدن دانه و عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش می‌شود (Mohammadi *et al*., 2022). خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh, Seyed Sharifi, & Jalilian, 2017) افزایش عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش شوری به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد را، به بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و همچنین مولفه‌های پرشدن دانه نسبت دادند. سالم و همکاران (Saleem, Nawaz, Hussain, & Ikram, 2021) گزارش کردند که کاربرد باکتری محرک رشد با بهبود محتوای نسبی آب و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش محتوای کلروفیل، وزن ریشه و اندام هوایی ذرت (*Zea mays* L.) شد. خان‌زاده (Khanzadeh, 2016) گزارش کرد کاربرد باکتری‌های محرک با افزایش محتوای اسمولیت‌های سازگار و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش، افزایش محتوای کلروفیل، محتوای نسبی آب و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش اجزای پر شدن دانه و عملکرد گندم شدند. خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al*., 2017) بیان کردند که شوری به‌دلیل اختلال در انتقال کربوهیدرات به دانه، تجمع املاح زیان‌بار در گیاه و همچنین اختلال در تعادل یونی، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود، که تلقیح بذر با باکتری در چنین شرایطی می‌تواند با تعدیل اثر ناشی از شوری و بهبود مولفه‌های پرشدن دانه، به افزایش عملکرد دانه منجر شود.

کاربرد برخی عناصر مانند روی و سیلیکون می‌تواند با تعدیل اثرات ناشی از شوری در بهبود عملکرد گیاهان موثر واقع شود. در این راستا آلپ اصلان و همکاران (Alpaslan, Inal, Gunes, Cikili, & Ozcan, 1999) اظهار داشتند که در شرایط شوری، غلظت روی در محیط ریشه می‌تواند اثرات منفی کلرید سدیم را به‌واسطه جلوگیری از جذب و یا انتقال سدیم و کلر کاهش دهد. بنی‌عباس و همکاران (Baniabbass, Zamani, & Sayyari, 2012) مشاهده کردند که به دلیل نقش اساسی عنصر روی در ساختمان فسفو اینول پیروات کربوکسیلاز و اهمیتی که این عنصر در سنتز مستقیم هورمون رشدی مانند اکسین دارد، موجب می‌شود که در حضور عنصر روی، توان فتوسنتزی و میزان کربوهیدارت‌های گیاه افزایش یافته و در نتیجه مواد خشک بیشتری تولید و در دانه به‌عنوان مخزن ذخیره شود. خیری‌زاده آروق و همکاران (Kheirizadeh Arough, Seyed Sharifi, Sedghi, & Barmaki, 2016) عنوان نمودند که محلول‌پاشی نانواکسید روی با بهبود محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش شوری شد. بابایی و همکاران (Babaei, Seyed Sharifi, & Pirzad, 2019) نیز عنوان نمودند که محلول‌پاشی نانواکسید روی تحت شرایط شوری با کاهش هدایت الکتریکی و افزایش عملکرد کوانتومی، شاخص محتوای کلروفیل و محتوای نسبی آب به بهبود سرعت و طول دوره پرشدن دانه و افزایش عملکرد دانه منجر شد (Babaei *et al*., 2019). رشیدی‌فرد و همکاران (Rashidifard, Chorom, Norouzi Masir, & Roshanfekr, 2020) گزارش کردند که کاربرد روی از طریق افزایش وزن تر و خشک ریشه و بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ ذرت شد.

سیلیکون (Silicon) یکی دیگر از عناصر مهم در تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و شوری و کمک به بهبود جذب عناصری مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان است (Eneji *et al*., 2008). سیلیکون با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی، موجب بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی شده و در بسیاری از فرآیندهای گیاهی از جمله واکنش‌های اسمزی، فرآیندهای متابولیکی، فیزیولوژی روزنه، فیتوهورمون‌ها و روابط مبدا و مقصد دخیل بوده (Ahire, Mundada, Nikam, Bapat, & Penna, 2021) و با بهبود استحکام مکانیکی گیاه، عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی را تحت شرایط تنش بهبود می‌بخشد (Yan, Nikolic, Ye, Xiao, & Liang, 2018). نباتی و همکاران (Nabati, Kafi, Masoumi, & Mehrjerdi, 2013) گزارش کردند که سیلیکون با رسوب در برگ و افزایش

1- *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*
2- *Azospirlium*

استحکام برگ‌ها، موجب افزایش کلروفیل در واحد سطح برگ و افزایش توانایی گیاه برای استفاده موثرتر از نور می‌شود. گزارش شده است که کاربرد سیلیکون در گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.)، تنش اکسیداتیو را به‌دلیل افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها، کاهش می‌دهد (Imtiaz *et al*., 2016). در این راستا نظری و همکاران (Nazari, Seyed Sharifi, & Narimani, 2021) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون با بهبود وزن و حجم ریشه و افزایش شاخص سطح برگ، موجب افزایش درصد پروتئین، فتوسنتز جاری و در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله شد. احمدی نورالدین‌وند و همکاران (Ahmadi Nouraldinvand, Seyedsharifi, Siadat, & Khalilzadeh, 2021) نیز اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود وزن و حجم ریشه و محتوای کلروفیل و افزایش طول دوره پرشدن دانه موجب بهبود عملکرد گندم تحت شرایط تنش شد.

شوری یکی از تهدیدهای اساسی برای دستیابی به عملکرد بهینه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با محدودیت در جذب آب و تجمع یون‌های سمی در سلول‌های گیاهی، آثار مخربی بر فتوسنتز و عملکرد دارد. در این راستا به دلیل اهمیت تریتیکاله به‌عنوان یکی از غلات دومنظوره و نقش باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانوسیلیکون و روی) در تعدیل یا کاهش اثرات نامطلوب ناشی از شوری، موجب شد تا اثر این عوامل بر عملکرد، رنگدانه‌های فتوسنتزی و اجزای پر شدن دانه این گیاه تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عوامل مورد بررسی شامل شوری در سه سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد، اعمال شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار) با استفاده از نمک کلرید سدیم، کاربرد باکتری محرک رشد در دو سطح (عدم تلقیح بذر با باکتری به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با *آزوسپریلیوم*) و محلول‌پاشی با نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، محلول‌پاشی توام ۰/۴ گرم در لیتر نانواکسید روی و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع و نرم‌افزار Salt Calc مقدار نمک مورد نیاز برای هر یک از سطوح شوری برای هر کیلوگرم خاک گلدان محاسبه و همراه آب آبیاری به هر گلدان اضافه شد. برای حفظ شوری در طول دوره رشد، در زیر هر گلدان زیر گلدانی قرار داده شد تا بعد از هر سه تا چهار نوبت آبیاری، نمک‌های احتمالی وارد شده به زیر گلدانی دوباره در آب حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. برای تلقیح بذرها از سویه خالص *آزوسپریلیوم* لیپوفروم استرین OF که هر گرم آن دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود به همراه محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر باکتری به بذر استفاده شد. سویه خالص این باکتری از موسسه خاک و آب تهیه شد. نانواکسید روی تولید کشور چین بود که از شرکت جهان کیمیای ارومیه تهیه شد. نانوسیلیکون (Nano SiO_2-) با اندازه ذرات ۲۰ تا ۳۰ نانومتر محصول شرکت Nanomaterial US Resarch بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان در مشهد تهیه شد. برای کاشت از گلدان‌هایی با قطر ۴۲ سانتی‌متر تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری استفاده شد و به هر گلدان ۱۳ کیلوگرم خاک اضافه شد. تاریخ کاشت در شش آذر ماه سال ۱۴۰۰ بود. از تریتیکاله رقم "سناباد" با تراکم ۴۰۰ بذر در متر مربع (۵۵ عدد بذر در هر گلدان) که تراکم مطلوب و توصیه شده برای این رقم است استفاده شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای در دمای ۲۰ تا۳۰ درجه سانتی‌گراد با طول دوره روشنایی ۱۴–۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ‌های معمولی و مهتابی) نگهداری شدند. محلول‌پاشی در دو مرحله (چهار تا شش برگی (BBCH 10) و قبل از مرحله چکمه‌ای شدن یا آبستنی (BBCH 45) انجام شد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز رطوبتی گیاه زراعی انجام شد. نتایج ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

Table1- Physicochemical properties of soil

مشخصات Properties	پتاسیم K	فسفر P	روی Zn	نیتروژن N	کربن آلی OC	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	عصاره اشباع Saturation	EC (dS.m^{-1})	بافت Texture	pH
	(mg.kg^{-1})					%						
مقدار Value	255	17.3	1.02	0.04	0.72	38.5	42	19.5	47	1.8	لومی سیلتی	7.8

اندازه‌گیری روند تغییرات برخی صفات از ۷۱ روز بعد از کاشت (در مرحله ظهور برگ پرچم معادل با BBCH ۳۸) شروع شد. محتوای

کلروفیل و کاروتنوئید برگ پرچم با استفاده از روش آرنـون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۰/۲ گرم از بافت برگ پرچم را با استن ۸۰ درصد به‌تدریج هموژنایز کرده تا کلروفیل وارد محلـول استونی شود و در نهایت حجـم محلـول بـا اسـتن ۸۰ درصـد بـه ۲۰ میلی‌لیتر رسانده شد. عصاره حاصل به مـدت ۱۰ دقیقـه در سـانتریفوژ ۴۰۰۰ دور در دقیقه قرار داده شد و سپس جذب نوری محلول‌رویی در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر توسط اسـپکتروفتومتر (SP-UV 200, APerkinElmer Company) قرائـت شـد. محتـوای کلروفیل و کاروتنوئید براساس رابطه‌های (۱) تا (۴) محاسبه شدند.

کلروفیل a= (۱۹/۳×A۶۶۳—۰/۸۶×A۶۴۵)V/۱۰۰W   (۱)

کلروفیل b= (۱۹/۳×A۶۴۵–۳/۶×A۶۶۳)V/۱۰۰W   (۲)

کلروفیل کل = کلروفیل a + کلروفیل b   (۳)

کاروتنوئید = (۱۰۰A۴۷۰–۳/۲۷Ca –۱۰۴Cb)/۲۲۷   (۴)

در این روابـط V حجـم اسـتون اسـتفاده شـده و W وزن نمونـه گیاهی استفاده شده است.

به‌منظور تعیین مولفه‌های پرشدن دانه تقریبـا پـس از پایـان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه (تعدادی بوتـه مشـابه و بـه ظـاهر یکنواخت در هر گلدان با نخ رنگی علامت‌گذاری شـدند)، در فواصـل زمانی هر چهار روز یک‌بـار و در هـر نمونـه‌بـرداری دو بوتـه از بـین بوته‌های مذکور در هر گلدان به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقـال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شدند و به مـدت دو ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسـبه وزن خشـک کـل بـه تعداد بذر به‌دست آمد (Ronanini, Savin, & Hal, 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانـه از مدل رگرسیون خطی به‌صورت رابطه (۵) استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt_0 & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases} \qquad (۵)$$

در این رابطه GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پـر شـدن دانـه است، t_0 پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا اسـت. ایـن مـدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را بـه دو مرحلـه تفکیـک مـی‌کنـد. مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن بـه حـداکثر مقـادیر خـود در زمـان t_0 کـه در حقیقـت زمـان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شـیب خـط رگرسیون در این مرحله ($t<t_0$) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهـد (Ellis & Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل ابتدا دو پـارامتر سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t_0) بـه‌دسـت آمـده و سپس مقدار عددی t_0 در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW کـه وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مـوثر پـر شـدن دانـه از رابطه (۶) استفاده شد (Ellis & Pieta-Filho, 1992).

EFP=MGW/b   (۶)

در این رابطه EFP دوره موثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، خارج‌سـازی ریشـه‌هـا از گلدان‌ها انجام شد. ریشه‌ها برای خشـک شـدن در آون بـا دمـای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ سـاعت قـرار داده شـدند و سـپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشــه‌هـا بـا اسـتفاده از حجـم مشخصـی از آب در اسـتوانه مـدرج اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین ارتفاع بوته، طول سنبله، عملکرد تـک بوته و تعـداد دانـه در سـنبله تعـداد پـنج بوتـه در زمـان رسـیدگی از بوته‌های موجود به‌صورت تصادفی انتخاب و اندازه‌گیری گردید. بـرای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میـانگین‌هـا با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی بـرگ پـرچم: براسـاس نتایج جدول تجزیه واریانس، برهم‌کنش کاربرد باکتری محرک رشـد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و تنش شـوری بـر محتـوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل، کارتنوئید و پروتئین بـرگ معنـی‌دار شـد (جـدول ۲). کـاربرد *آزوسـپریلیوم* و محلـول‌پاشـی نـانوذرات روی و سیلیکون در شرایط عدم اعمـال شـوری موجـب افـزایش بـه‌ترتیـب ۳۸/۴۲، ۴۱/۷۶، ۳۹/۳۹ و ۵۳/۹۹ درصـدی محتـوای کلروفیـل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید نسبت به عدم کاربرد باکتری محرک رشـد و نانوذرات تحت بالاترین سطح شوری (۱۲۰میلی‌مولار) شد (جدول ۳). همچنــین کــاربرد *آزوسـپریلیوم* و محلـول‌پاشـی نـانوذرات روی و سـیلیکون، موجـب افـزایش بـه‌ترتیـب ۳۱/۴، ۳۴/۳۵، ۳۲ و ۴۵/۶۸ درصدی محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئیـد در شـوری ۶۰ میلی‌مولار نسبت به سطح شوری ۱۲۰میلی‌مولار شد.

بـه نظـر مـی‌رسـد بخشـی از کـاهش محتـوای کلروفیـل a، b، کاروتنوئید و کلروفیل کل در اثر تنش شوری، ناشی از افـزایش تولیـد رادیکال‌های آزاد اکسیژن باشد که موجب پراکسیداسیون و در نتیجـه تجزیه‌ی این رنگیـزه‌هـا مـی‌شـود (Schutz & Fangmeir, 2001). تنش شوری به دلیل اثر سوء بر پایداری غشـا تیلاکوئیـدها و کـاهش میزان کلروفیل، فتوسنتز را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد.

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری

Table 2- Variance analysis of the effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on the content of photosynthetic pigments under salinity stress

منابع تغییر SOV	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean Square			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Cartenoeide
Replication تکرار	2	2.051^{**}	1.54^{**}	7.16^{**}	0.096^{**}
Salinity (S) شوری	2	0.62^{**}	0.307^{**}	1.79^{**}	0.04^{**}
Azospirillum (A) *آزوسپریلیوم*	1	0.22^{**}	0.16^{**}	0.76^{**}	0.016^{**}
Nanoparticles (N) نانوذرات	3	0.508^{**}	0.083^{**}	0.99^{**}	0.015^{**}
S×A	2	0.057^{*}	0.0142^{ns}	0.11^{*}	0.00015^{ns}
S×N	6	0.018^{ns}	0.0149^{*}	0.032^{ns}	0.00077^{ns}
A×N	3	0.013^{ns}	0.0024^{ns}	0.0202^{ns}	0.0012^{ns}
S×A×N	6	0.071^{**}	0.028^{**}	0.18^{**}	0.0034^{**}
Error خطا	46	0.016	0.0052	0.027	0.0009
CV (٪) ضریب تغییرات		4.3	5.1	3.8	7.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی تحت تنش شوری

Table 3- Mean comparison of effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on photosynthetic pigments contents under saltinity stress

تیمار Treatments	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoid
	(mg. g FW^{-1})			
$S_1×A_1×N_1$	2.76^{l-n}	1.292^{j-m}	4.052^{ij}	0.379^{i-m}
$S_1×A_1×N_2$	2.92^{h-m}	1.366^{g-l}	4.286^{g-i}	0.429^{c-h}
$S_1×A_1×N_3$	3.21^{a-e}	1.495^{c-f}	4.709^{b-e}	0.468^{a-d}
$S_1×A_1×N_4$	3.29^{a-c}	1.589^{a-c}	4.879^{a-c}	0.488^{a}
$S_1×A_2×N_1$	3.13^{b-g}	1.475^{c-g}	4.605^{d-f}	0.442^{a-g}
$S_1×A_2×N_2$	3.25^{a-d}	1.567^{a-c}	4.817^{a-d}	0.464^{a-d}
$S_1×A_2×N_3$	3.31^{b-g}	1.659^{a}	4.969^{ab}	0.478^{a-c}
$S_1×A_2×N_4$	3.35^{a}	1.626^{ab}	4.982^{a}	0.482^{ab}
$S_2×A_1×N_1$	2.86^{i-n}	1.400^{e-j}	4.264^{g-i}	0.398^{g-k}
$S_2×A_1×N_2$	2.79^{k-n}	1.327^{i-m}	4.120^{ij}	0.339^{mn}
$S_2×A_1×N_3$	2.83^{j-n}	1.350^{h-l}	4.180^{h-j}	0.364^{j-m}
$S_2×A_1×N_4$	3.17^{a-g}	1.448^{d-h}	4.618^{c-f}	0.437^{b-h}
$S_2×A_2×N_1$	2.77^{k-n}	1.276^{k-m}	4.053^{ij}	0.353^{k-n}
$S_2×A_2×N_2$	3.01^{e-j}	1.392^{f-j}	4.405^{f-h}	0.422^{d-i}
$S_2×A_2×N_3$	3.07^{d-i}	1.514^{b-e}	4.584^{d-f}	0.448^{a-f}
$S_2×A_2×N_4$	3.18^{a-f}	1.541^{a-d}	4.721^{a-e}	0.456^{a-e}
$S_3×A_1×N_1$	2.42^{o}	1.147^{n}	3.574^{k}	0.313^{n}
$S_3×A_1×N_2$	2.96^{g-l}	1.290^{j-m}	4.257^{g-i}	0.371^{j-m}
$S_3×A_1×N_3$	2.91^{h-m}	1.214^{mn}	4.131^{ij}	0.348^{l-n}
$S_3×A_1×N_4$	2.98^{f-k}	1.304^{j-m}	4.287^{g-i}	0.400^{f-k}
$S_3×A_2×N_1$	2.71^{mn}	1.407^{e-j}	4.120^{ij}	0.377^{i-m}
$S_3×A_2×N_2$	2.70^{n}	1.229^{mn}	3.936^{j}	0.373^{i-m}
$S_3×A_2×N_3$	2.86^{i-n}	1.248^{l-n}	4.111^{ij}	0.390^{h-l}
$S_3×A_2×N_4$	3.09^{c-h}	1.422^{e-i}	4.519^{e-g}	0.411^{e-j}
LSD 0.01	0.20	0.118	0.273	0.049

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillum*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, 50 mg.L^{-1} nano Si oxide, foliar application both of nano zn-si oxide respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on LSD test.

از آن‌جایی‌که رنگیزه‌های فتوسنتزی دارای نقش کلیدی در فتوسنتز هستند کاهش در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی درنتیجه تنش شوری می‌تواند با کاهش میزان فتوسنتز مرتبط باشد (Taibi *et al.*, 2016). در ضمن افزایش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌واسطه کاربرد باکتری محرک رشد را می‌توان به افزایش وزن خشک و حجم ریشه نسبت داد (جدول ۴) که ضمن کمک به افزایش جذب آب و مواد غذایی، منجر به بهبود فتوسنتز و افزایش محتوای کلروفیل می‌شود (Nazari *et al.*, 2021). داداش‌زاده و همکاران (Dadashzadeh, Seyed Sharifi, & Farzaneh, 2018) افزایش عملکرد دانه جو (*Hordeum vulgare* L.) در کاربرد نانواکسید آهن و *آزوسپریلیوم* تحت شرایط شوری را، به بهبود وزن و حجم ریشه، افزایش محتوای کلروفیل کل و مولفه‌های پرشدن دانه نسبت دادند.

وزن و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون)، شوری و برهم‌کنش این عوامل بر وزن و حجم ریشه معنی‌دار شد (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری از افزایش به‌ترتیب ۶۲/۶۱ و ۳۹/۸ درصدی وزن و حجم ریشه در مقایسه با عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۵). همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی توام نانوذرات روی و سیلیکون، موجب افزایش به‌ترتیب ۵۷/۱۴ و ۳۰/۷۲ درصدی وزن و حجم ریشه در شوری ۶۰ میلی‌مولار نسبت به شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد. داداش‌زاده و همکاران (Dadashzadeh *et al.*, 2018) بیان کردند که گرچه شوری تعداد دانه در سنبله، وزن دانه، حجم و وزن ریشه جو را کاهش داد ولی کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات آهن در چنین شرایطی با بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی، وزن و حجم ریشه و مولفه‌های پر شدن دانه، موجب بهبود عملکرد دانه جو شد. به نظر می‌رسد کاربرد ریزمغذی روی در شرایط تنش شوری می‌تواند اثرات منفی کلرید سدیم را به‌واسطه جلوگیری از جذب و یا انتقال سدیم و کلر کاهش داده و منجر به رشد بهتر گیاه شود (Alpaslan *et al.*, 1999). از آن‌جایی‌که تلقیح بذر گیاهان با باکتری‌های محرک‌رشد مورفولوژی ریشه‌های گیاهان را از طریق ترشح مواد محرک رشد تحت تاثیر قرار می‌دهد (Bashan, Holguin, & De-Bashan, 2004) و این میکروارگانیسم‌ها با افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و تشکیل و تحریک ریشه‌های موبین، سطح ریشه‌ای بیشتری را برای افزایش جذب مواد غذایی فراهم می‌آورند (Mehdipour-Moghaddam, Emtiazi, & Salehi, 2012)، از این‌رو وزن و حجم ریشه افزایش می‌یابد. پان و همکاران (Pan, Bai, Leibovitch, & Smith, 1999) افزایش سطح کل ریشه، وزن و طول ریشه، تعداد ریشه‌های فرعی، تعداد و تراکم تارهای کشنده، همچنین افزایش تقسیم سلول‌های مریستم ریشه را از علل اساسی بهبود وزن و حجم ریشه به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد بیان کردند. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2021) گزارش کردند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود فتوسنتز جاری و افزایش تولید مواد فتوسنتزی به ریشه، موجب افزایش وزن و حجم ریشه تریتیکاله شد.

مولفه‌های پرشدن دانه: برهم‌کنش باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و شوری بر حداکثر وزن دانه، طول دوره پر شدن دانه و دوره موثر پر شدن دانه معنی‌دار شد (جدول ۴). تاثیر کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و شوری بر سرعت پر شدن دانه معنی‌دار بود ولی برهم‌کنش این سه عامل، بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری موجب افزایش به‌ترتیب ۵۱/۲۳، ۱۶/۳۷، ۲۱/۰۵ و ۲۹/۷۸ درصدی مقدار حداکثر وزن دانه، سرعت پرشدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه نسبت به عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات در بالاترین سطح شوری شد (جدول ۵). همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی توام نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار موجب افزایش به‌ترتیب ۴۷/۹۳، ۱۵/۲۱، ۲۱/۱۹ و ۲۸/۶۲ درصدی مقدار حداکثر وزن دانه، سرعت پرشدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه نسبت به سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) شد. بخشی از کاهش وزن دانه در شرایط شوری می‌تواند ناشی از کاهش طول دوره پر شدن دانه باشد زیرا وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است، بنابراین شوری با کوتاه نمودن طول دوره پر شدن دانه (جدول ۵)، به‌طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهد (Mohammadi Kale Sarlou, Seyed Sharifi, Sedghei, Narimani, & Khalilzadeh, 2021). به‌نظر می‌رسد کاربرد نانوذرات روی و سیلیکون می‌تواند از طریق بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی (جدول ۳)، وزن و حجم ریشه (جدول ۵) موجب افزایش مولفه‌های پر شدن دانه شود. سایر محققان نیز گزارش کردند که محلول‌پاشی نانواکسید روی با بهبود محتوای کلروفیل، وزن و حجم ریشه موجب افزایش سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره پر شدن دانه و در نهایت حداکثر وزن دانه گندم تحت تنش شوری شد (Babaei *et al.*, 2019). خلیل‌زاده و همکاران (Khalilzadeh *et al.*, 2017) اظهار داشتند که شوری به‌دلیل اختلال در انتقال کربوهیدرات به دانه، تجمع املاح زیان‌بار در گیاه و همچنین برهم‌خوردن تعادل یونی، موجب کاهش طول دوره پر شدن دانه می‌شود، ولی تلقیح بذر با باکتری در چنین شرایطی می‌تواند با تعدیل اثر ناشی از شوری و بهبود مولفه‌های پرشدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه شود. محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi

(Kale Sarlou *et al*., 2021) بیان کردند کـه کـاربرد بـاکتری‌هـای محرک رشد در شرایط شوری از طریق بهبـود وزن و حجـم ریشـه و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، ضمن افزایش تولیـد و انتقـال مـواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها، موجب بهبود مولفـه‌هـای پـر شـدن دانـه تریتیکاله شد. اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه که نتیجه تجمع املاح مضر در گیاه و همچنین بر هم‌خوردن تعـادل یـونی مـی‌باشـد، ممکن است مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه در شـرایط تـنش باشـد. خلیل‌زاده و همکـاران (Khalilzadeh *et al*., 2017) عنـوان نمودنـد که در شرایط شوری، افزایش میزان سدیم بـرگ و کـاهش محتـوای کلروفیل a و b برگ موجب می‌شود به دلیل کاهش فتوسنتز و ساخت مواد پرورده، مولفه‌های پر شدن دانه کاهش یابد. ولـی تلقـیح بـذر بـا باکتری در چنین شرایطی، با افزایش طول دوره پرشدن دانـه، موجـب افـزایش وزن هـزار دانـه و در نتیجـه عملکـرد دانـه شـد. کمـری و سیدشـریفی (Kamari & Seyedsharifi, 2017) علـت افـزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه در کاربرد نانواکسید روی و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد را به افزایش جذب فسفر به‌واسطه فعالیت بالای آنزیم فسفاتاز اسیدی و نقل و انتقال مواد به دانه نسـبت دادنـد. داداش‌زاده و همکـاران (Dadashzadeh *et al*., 2018) افـزایش عملکرد دانه جو در کاربرد نانواکسید آهن و *آزوسپریلیوم* تحت شـرایط شوری را به بهبود وزن و حجم ریشه، افزایش محتوای کلروفیل کل و مولفه‌های پرشدن دانه نسبت دادند.

طول سنبله: براساس نتایج جدول تجزیه واریـانس، بـرهم‌کـنش کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سـیلیکون) و تـنش شـوری بـر طـول سـنبله معنـی‌دار بـود (جـدول ۶). کـاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط عـدم اعمال شوری، موجب افزایش ۴۷/۸۲ درصدی طول سنبله نسـبت بـه عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد (جدول ۷). همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شـوری ۶۰ میلی‌مـولار موجـب افزایش ۴۱/۴۴ درصدی طول سنبله نسـبت بـه سـطح شـوری (۱۲۰ میلی‌مولار) شد. نتایج بررسی‌های باشـان و همکـاران (Bashan *et al*., 2004) نشان داد که تلقیح بذر گیاهان توسط *آزوسپریلیوم* موجب تغییر معنی‌داری در پارامترهای رشدی در غلات از جمله ارتفاع بوتـه، طول سنبله و طول پدانکل می‌شود. برخی محققان افزایش ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشد را، به بهبود وضعیت رطوبتی گیـاه به‌واسطـه بـاکتری‌هـا نسـبت دادنـد (Copetta, Lingua, & Bert, 2006). علت کاهش طول سنبله در شرایط شوری را می‌توان به تاثیر سمیت ناشی از یون‌های Cl و Na نسبت داد کـه بـا افـزایش جـذب سدیم، موجب کاهش فتوسنتز و تقسیمات سلولی و صفات مـرتبط بـا عملکـرد مـی‌شـود (Bandeh Haq, Kazemi, Valizadeh, & Joanshir, 2004). به نظر می‌رسد بخشی از بهبـود طـول سـنبله بـا افزایش وزن و حجم ریشه در کاربرد نانوذرات و باکتری *آزوسـپریلیوم* مرتبط باشد.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) برمولفه‌های پرشدن دانه، وزن و حجم ریشه تحت تنش شوری

Table 4- Variance analysis of the effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on grain filling components, volume and root weight of triticale under saltinity stress

منابع SOV	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean Square: حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain filling period	وزن خشک ریشه Root weight	حجم ریشه Root volume
Replication تکرار	2	0.000395**	5.6×10^-7**	3.22ns	8.045**	0.028796**	1201.5901**
Salinity (S) شوری	2	0.000394**	3.82×10^-8**	65.62**	83.122**	0.043315**	970.6334**
آزوسپریلیوم (A) *Azospirillum*	1	0.000204**	1.56×10^-8**	35.29**	47.303**	0.0412802**	496.6501**
نانوذرات (N) Nanoparticles	3	0.000214**	1.79×10^-8**	35.66**	47.63**	0.027622**	355.1916**
S×A	2	0.0000056ns	6.51×10^-10ns	0.776ns	0.93ns	0.0004044ns	8.6468ns
S×N	6	0.00001395*	5.13×10^-9**	2.496ns	1.871ns	0.0016933*	4.0649ns
A×N	3	0.00000416ns	6.48×10^-9ns	1.0003ns	1.955ns	0.0024082*	8.5949ns
S×A×N	6	0.0000325**	7.56×10^-9**	7.701**	5.996**	0.0024895**	58.686**
Error خطا	46	0.000006	1.75×10^-9	1.322	1.02	0.000644	12.7594
CV (٪) ضریب تغییرات		5.1	2.7	2.9	3.2	5.5	4.4

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر مولفه‌های پرشدن دانه، وزن خشک و حجم ریشه تحت تنش شوری

Table 5- Comparison of the average effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on grain filling components and dry weight and root volume of triticale under salt stress

تیمار Treatments	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight (g)	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate ($g.day^{-1}$)	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period (day)	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain-filling period (day)	وزن خشک ریشه Root weight g per) (plant	حجم ریشه Root volume cm^3 per) (plant
$S_1×A_1×N_1$	0.0438^{g-i}	0.001506^{d-g}	37.53^{d-f}	29.066^{cd}	0.409^{h-k}	74.23^{k-m}
$S_1×A_1×N_2$	0.0492^{b-e}	0.001586^{a-c}	39.60^{b-c}	31.062^{b}	0.465^{d-g}	85.26^{c-g}
$S_1×A_1×N_3$	0.0535^{a}	0.001583^{a-c}	41.82^{a}	33.838^{a}	0.515^{a-c}	88.10^{a-e}
$S_1×A_1×N_4$	0.054^{a}	0.001583^{a-c}	41.82^{a}	34.176^{a}	0.524^{ab}	91.46^{ab}
$S_1×A_2×N_1$	0.0509^{a-d}	0.00155^{a-e}	40.89^{ab}	32.877^{a}	0.474^{c-f}	87.40^{a-e}
$S_1×A_2×N_2$	0.0542^{a}	0.001603^{ab}	41.89^{a}	33.860^{a}	0.529^{a}	89.53^{a-d}
$S_1×A_2×N_3$	0.0546^{a}	0.001606^{ab}	41.94^{a}	34.083^{a}	0.532^{a}	90.46^{a-c}
$S_1×A_2×N_4$	0.0549^{a}	0.001613^{a}	41.86^{a}	34.094^{a}	0.535^{a}	92.83^{a}
$S_2×A_1×N_1$	00.0461^{e-h}	0.001566^{a-d}	38.89^{c-e}	29.501^{b-d}	0.393^{i-k}	73.96^{k-m}
$S_2×A_1×N_2$	0.0409^{i}	0.00142^{h-i}	36.70^{f}	28.472^{hi}	0.372^{k}	72.93^{lm}
$S_2×A_1×N_3$	0.0481^{c-f}	0.001553^{a-e}	39.44^{b-c}	30.982^{b}	0.454^{e-g}	72.76^{lm}
$S_2×A_1×N_4$	0.0524^{ab}	0.00156^{a-e}	41.63^{a}	33.679^{a}	0.503^{a-d}	80.30^{g-j}
$S_2×A_2×N_1$	0.0463^{e-h}	0.001523^{d-g}	38.75^{c-e}	30.428^{bc}	0.432^{g-i}	70.93^{mn}
$S_2×A_2×N_2$	0.0514^{a-c}	0.001573^{a-d}	41.21^{ab}	32.778^{a}	0.486^{b-e}	83.40^{e-i}
$S_2×A_2×N_3$	0.0531^{ab}	0.00158^{a-c}	41.71^{a}	33.535^{a}	0.508^{a-c}	84.56^{d-h}
$S_2×A_2×N_4$	0.0537^{a}	0.001593^{ab}	41.91^{a}	33.789^{a}	0.517^{ab}	86.80^{b-f}
$S_3×A_1×N_1$	0.0363^{j}	0.001386^{i}	34.58^{g}	26.270^{e}	0.329^{l}	66.40^{n}
$S_3×A_1×N_2$	0.0449^{f-i}	0.00154^{b-g}	38.22^{c-f}	29.196^{cd}	0.380^{k}	75.56^{j-m}
$S_3×A_1×N_3$	0.0426^{hi}	0.001493^{f-h}	37.07^{d-f}	28.497^{d}	0.403^{h-k}	71.93^{lm}
$S_3×A_1×N_4$	0.0471^{d-g}	0.001543^{b-f}	38.95^{cd}	30.534^{bc}	0.442^{f-h}	78.86^{h-k}
$S_3×A_2×N_1$	0.0418i	0.001483^{f-h}	37.01^{ef}	28.277^{d}	0.444^{f-h}	73.80^{k-m}
$S_3×A_2×N_2$	0.0417^{i}	0.001473^{gh}	36.53^{ij}	28.310^{d}	0.388^{jk}	76^{j-m}
$S_3×A_2×N_3$	0.0048^{f-i}	0.00151^{d-g}	38.04^{c-f}	29.685^{b-d}	0.423^{g-j}	77.80^{i-l}
$S_3×A_2×N_4$	0.0518^{a-c}	0.001573^{a-d}	41.31^{ab}	33.008^{a}	0.495^{a-e}	81.30^{f-j}
LSD 0.01	0.004	0.0001	1.889	1.6603	0.0417	5.87

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2, and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3, and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, 50 $mg.L^{-1}$ nano Si oxide, and foliar application both of nano zn-si oxide respectively. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات و تنش شوری بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار شد (جدول ۶). وزن صد دانه تحت کاربرد باکتری محرک رشد، محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) و تنش شوری و برهم‌کنش باکتری محرک رشد و محلول‌پاشی نانوذرات (روی و سیلیکون) معنی‌دار شد (جدول ۶). بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله در عدم کاربرد باکتری محرک و محلول‌پاشی توام نانوذرات در شرایط عدم اعمال شوری مشاهده شد که از افزایش ۴۷/۹ درصدی در مقایسه با عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانو ذرات تحت شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۷). همچنین، کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و سیلیکون موجب افزایش ۲۴/۶ درصدی وزن صد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات شد (جدول ۹).

جدول ٦- تجزیه واریانس تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 6- Variance analysis of the effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on yield and yield components of triticale under salinity stress

منابع SOV	درجه آزادی d.f	Mean square میانگین مربعات			
		طول سنبله Spike length	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	وزن صد دانه 100grain weigh	عملکرد دانه Grain yield
Replication تکرار	2	16.25**	309.79**	4.04**	1.84**
Salinity (S) شوری	2	9.55**	271.61**	4.81**	1.099**
(A) *آزوسپریلیوم* *Azospirillum*	1	6.66**	128.53**	2.48**	0.072*
Nanoparticles (N) نانوذرات	3	4.79**	99.22**	1.48**	0.56**
S×A	2	0.52*	1.59^{ns}	0.12^{ns}	0.051^{ns}
S×N	6	0.44**	13.53**	0.03^{ns}	0.03^{ns}
A×N	3	0.56**	11.91*	0.14*	0.015^{ns}
S×A×N	6	0.98**	38.67**	0.11^{ns}	0.06**
Error خطا	46	0.13	3.88	0./05	0.017
CV (٪) ضریب تغییرات		4.1	4.7	5.1	5.3

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله تحت تنش شوری

Table 7- Mean comparison of the effect of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on yield and yield components of triticale under salinity stress

تیمار Treatments	طول سنبله Spike length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	عملکرد دانه Grain yield (g per plant)
$S_1×A_1×N_1$	7.73^{o}	39.20^{h-l}	2.23^{l-o}
$S_1×A_1×N_2$	8.80^{h-k}	43.10^{d-g}	2.67^{c-f}
$S_1×A_1×N_3$	9.46^{c-g}	47.06^{a-c}	2.73^{a-e}
$S_1×A_1×N_4$	10^{a-c}	48.60^{a}	2.89^{a-c}
$S_1×A_2×N_1$	9.33^{d-h}	45.20^{b-e}	2.60^{d-h}
$S_1×A_2×N_2$	9.86^{a-d}	46.46^{a-c}	2.76^{a-d}
$S_1×A_2×N_3$	10.40^{a}	47.43^{a-c}	2.91^{ab}
$S_1×A_2×N_4$	10.20^{ab}	48.03^{ab}	2.93^{a}
$S_2×A_1×N_1$	8.40^{k-n}	40.23^{g-j}	2.44^{g-l}
$S_2×A_1×N_2$	8.56^{j-m}	35.50^{mn}	2.36^{i-m}
$S_2×A_1×N_3$	8.70^{i-l}	37.46^{j-m}	2.45^{g-l}
$S_2×A_1×N_4$	9.20^{e-i}	44.56^{c-f}	2.64^{d-g}
$S_2×A_2×N_1$	8.20^{l-o}	36.90^{k-m}	2.15^{n-p}
$S_2×A_2×N_2$	8.96^{g-k}	42.10^{e-h}	2.48^{f-k}
$S_2×A_2×N_3$	9.63^{b-f}	45.63^{a-d}	2.56^{d-i}
$S_2×A_2×N_4$	9.76^{b-e}	46.16^{a-d}	2.70^{b-e}
$S_3×A_1×N_1$	6.90^{p}	32.86^{n}	1.99^{m-p}
$S_3×A_1×N_2$	8.80^{h-k}	41.80^{f-i}	2.51^{f-k}
$S_3×A_1×N_3$	7.86^{no}	35.96^{l-n}	2.21^{m-p}
$S_3×A_1×N_4$	8.40^{k-n}	40.73^{g-i}	2.41^{h-m}
$S_3×A_2×N_1$	8.63^{i-m}	41.13^{g-i}	2.10p
$S_3×A_2×N_2$	7.96^{no}	38.73^{i-m}	2.27^{k-o}
$S_3×A_2×N_3$	8.10^{m-o}	40.03^{g-k}	2.30^{j-o}
$S_3×A_2×N_4$	9.06^{f-j}	41.33^{f-}i	2.52^{e-i}
LSD 0.01	0.59	3.23	0.219

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2, and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3, and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 g.L^{-1} nano Zn oxide, 50 mg.L^{-1} nano Si oxide, and foliar application both of nano zn-si oxide respectively. Means with similar letters in each column are not significant.

همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی توام نـانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شـوری ۶۰ میلـی‌مـولار موجـب افـزایش ۴۰/۵۳ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به سطح شوری (۱۲۰میلـی‌مـولار) شد. وزن دانه به انتقال مواد فتوسنتزی وابسته است که ایـن امـر بـه سرعت انتقال مواد پرورده و طـول دوره پـر شـدن دانـه بسـتگی دارد (Jongkaettana, Geng, Hill, & Miler, 1993). به بیانی دیگر در همان ترکیبات تیماری که سرعت و طول دوره پر شـدن دانـه بیشـتر بود در همان ترکیبات تیماری، وزن صد دانه نیز بیشتر بـود. مایـاک و همکاران (Mayak, Tirosh, & Glick, 2004) علت کـاهش تعـداد دانه در سنبله و طول سنبله در شرایط شوری شدید را، به تولید اتـیلن بیشتر نسبت به شرایط معمول نسبت دادند.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات اصلی شوری، *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر وزن صد دانه تریتیکاله

Table 8- mean comparison of the main effects salinity, *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on hundred grain weight of triticale

Treatments تیمار	وزن صد دانه
Salinity levels سطوح شوری	**100 grain weight (g)**
S_1	4.871[a]
S_2	4.499[b]
S_3	3.98[c]
LSD 0.01	0.133
Bacteria باکتری	100 grain weight (g) وزن صد دانه
A_1	4.264[b]
A_2	4.636[a]
LSD 0.01	0.108
Foliar application محلول‌پاشی	100 grain weight (g) وزن صد دانه
N_1	4.153[c]
N_2	4.217[c]
N_3	4.602[b]
N_4	4.827[a]
LSD 0.01	0.153

S_1، S_2 و S_3 به‌ترتیب عدم اعمال شوری و شوری ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار. A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

S_1, S_2 and S_3 are no salinity, salinity of 60 and 120 mM respectively. A_1 and A_2 are no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, 50 $mg.L^{-1}$ nano Si oxide, and foliar application both of nano zn-si oxide respectively. Means with similar letters in each column are not significant.

جدول ۹- مقایسه میانگین تاثیر *آزوسپریلیوم* و نانوذرات (روی و سیلیکون) بر وزن صد دانه تریتیکاله تحت شرایط تنش شوری

Table 9- Mean comparison of the effects of *Azospirillum* and nanoparticles (zinc and silicon) on the hundred-grain weight of triticale

تیمار Treatments	$A_1 \times N_1$	$A_1 \times N_2$	$A_1 \times N_3$	$A_1 \times N_4$	$A_2 \times N_1$	$A_2 \times N_2$	$A_2 \times N_3$	$A_2 \times N_4$	LSD 0.01
وزن صد دانه 100 Grains Weight (g)	3.958[cd]	3.907[d]	4.47[b]	4.722[ab]	4.348[bc]	4.527[ab]	4.735[ab]	4.932[a]	0.434

A_1 و A_2 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد و تلقیح بذر با باکتری *آزوسپریلیوم*. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی ۰/۸ گرم در لیتر نانواکسید روی، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری براساس آزمون LSD با هم ندارند.

A_1 and A_2 are no inoculation as control and seed inoculation with *Azospirillium*. N_1, N_2, N_3 and N_4 are foliar application with water as control, foliar application of 0.8 $g.L^{-1}$ nano Zn oxide, 50 $mg.L^{-1}$ nano Si oxide, and foliar application both of nano zn-si oxide respectively. Means with similar letters in each column are not significant.

حسن‌زاده و همکاران (Hassan Zadeh, Mazaheri, Chaichi, & Khawazi, 2016) ضمن گزارش افزایش ۱۷ درصدی تعداد دانـه در سنبله جو تحت تأثیر باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن، اظهار داشتند در حضور این باکتری‌ها به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی و تحریـک

رشد زایشی، تعداد دانه بیشتری در سنبله تشکیل می‌یابد. همچنین، تلقیح بذر با کودهای زیستی علاوه بر تولید هورمون‌های محرک رشد با گسترش وزن و حجم ریشه‌ای، موجب افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی، افزایش رشد رویشی، ارتفاع بوته و افزایش سهم اندام‌های زایشی از جمله تعداد دانه در سنبله و طول سنبله شد (Khalilzadeh *et al*., 2017). مایاک و همکاران (Mayak *et al*., 2004) علت کاهش تعداد دانه در سنبله و طول سنبله در شرایط شوری شدید را، به تولید اتیلن بیشتر نسبت به شرایط معمول نسبت دادند.

عملکرد دانه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش هر سه عامل مورد بررسی بر عملکرد تک بوته معنی‌دار شد (جدول ۶). عملکرد دانه در کاربرد *آزوسپریلیوم*، محلول‌پاشی توام نانواکسید روی و سیلیکون در شرایط عدم اعمال شوری از افزایش ۴۷ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار برخوردار بود (جدول ۷). همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی توام نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار موجب افزایش ۳۵/۶۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به سطح شوری (۱۲۰میلی‌مولار) شد. بخشی از افزایش عملکرد دانه به‌واسطه کاربرد باکتری محرک رشد را می‌توان به افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۵)، محتوای کلروفیل (جدول ۳) و بهبود مولفه‌های پر شدن دانه (جدول ۵) نسبت داد. برزوئی و همکاران (Borzouei, Kafi, Khazaei, & Mousavi Shalmani, 2012) بیان کردند که تنش شوری با نابارور کردن سنبلچه‌ها و همچنین کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه و دانه‌ها، تعداد دانه، وزن دانه، حجم و وزن خشک ریشه را کاهش داد که در نهایت موجب کاهش عملکرد دانه گندم شد. ولی در این راستا آقایی و همکاران (Aghaei, Seyedsharifi, & Narimani, 2020) اظهار داشتند که کاربرد باکتری محرک رشد در شرایط تنش شوری با بهبود وزن و حجم ریشه و افزایش محتوای کلروفیل، ضمن افزایش سرعت و طول دوره پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه گندم شد. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی نانوسیلیکون با تاثیر بر ساختار ریشه و افزایش محتوای کلروفیل، ضمن افزایش اجزای پرشدن دانه موجب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به گیاه و افزایش عملکرد دانه شده است. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان گزارش شده است (Ahmadi Nouraldinvand *et al*., 2021). بابایی و همکاران (Babaei *et al*., 2019) افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش شوری با کاربرد نانواکسید روی را به نقش این عنصر در جلوگیری از تخریب ریشه و ساختار کلروفیل و همچنین افزایش طول دوره پرشدن دانه گندم نسبت دادند. از این‌رو محلول‌پاشی نانو ذرات (روی و سیلیکون) با افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۵)، محتوای کلروفیل (جدول ۳) و افزایش سرعت و طول دوره پرشدن دانه (جدول ۴) موجب افزایش عملکرد دانه شد. داداش‌زاده و همکاران (Dadashzadeh *et al*., 2018) افزایش عملکرد دانه جو در کاربرد نانواکسید آهن و *آزوسپریلیوم* تحت شرایط شوری را، به بهبود وزن و حجم ریشه، افزایش محتوای کلروفیل کل و مولفه‌های پرشدن دانه نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

سطوح بالاتر تنش شوری و عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات موجب کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی شد. ولی کاربرد *آزوسپریلیوم* و محلول‌پاشی نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شوری با بهبود وزن و حجم ریشه و افزایش محتوای کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل ضمن بهبود مولفه‌های پر شدن دانه (سرعت پر شدن دانه، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه)، منجر به افزایش طول سنبله (۴۸/۸۲٪)، تعداد دانه در سنبله (۴۷/۹٪) و عملکرد دانه (۴۷/۲۳٪) نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط شوری ۱۲۰ میلی‌مولار شد. همچنین کاربرد *آزوسپریلیوم* و نانوذرات روی و سیلیکون در شرایط شوری ۶۰ میلی‌مولار موجب افزایش محتوای کلروفیل a (۳۱/۴٪)، کلروفیل b (۳۴/۳۵٪)، کلروفیل کل (۳۲٪)، کارتنوئید (۴۵/۶۸٪)، وزن ریشه (۵۷/۱۴٪)، سرعت پرشدن دانه (۱۵/۲۱٪)، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه (به‌ترتیب ۲۱/۱۹ و ۲۸/۶۲٪) و عملکرد دانه (۳۵/۶۷٪) نسبت به سطح شوری ۱۲۰میلی‌مولار شد. به‌نظر می‌رسد همانند شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (روی و سیلیکون) تحت شرایط شوری نیز می‌تواند با بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و مولفه‌های پر شدن دانه، عملکرد دانه تریتیکاله را افزایش دهد.

سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله می‌باشد که نویسندگان وظیفه خود می‌دانند مراتب سپاس و تشکر خود را از یکایک همکاران ارجمند در بخش‌های مختلف دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

References

1. Aghaei, F., Seyedsharifi, R., & Narimani, H. (2020). Evaluation of yield, chlorophyll content and filling components of wheat grain under soil salinity conditions, application of uniconazole and biofertilizers. *Journal of*

Crop Improvement, *22*(2), 269-282. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2020.286632.2252
2. Ahire, M. L., Mundada, P. S., Nikam, T. D., Bapat, V. A., & Penna, S. (2021). Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *169*, 291-310. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010
3. Ahmadi Nouraldinvand, F., Seyedsharifi, R., Siadat, S., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of nano silicon concentrations and bio-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *19*(1), 91-105. (In Persian). https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.67258.0
4. Alpaslan, M., Inal, A., Gunes, A., Cikili, Y., & Ozcan, H. (1999). Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* L. Mill. c.v.lale) grown under salinity. *Turkish Journal of Botany*, *23*, 1-10.
5. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.
6. Ansari, S., Mirmohammady Maibody, S. A. M., Arzani, A., & Golkar, P. (2018). Evaluation of Different Triticale (X *Triticosecale Wittmack*) Genotypes for Agronomic and Qualitative Characters. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(4), 872-884. (In Persian). https://doi.org/ 10.22067/GSC.V15I4.55994
7. Babaei, Kh., Seyed Sharifi, R., & Pirzad, A. (2019). Effect of biological fertilizers and iron and zinc nano oxide on quantum yield and filling process of wheat grain under soil salinity conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(1), 73-94. https://dorl.net/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.1.5.6
8. Bandeh Haq, A., Kazemi, H., Valizadeh, M., & Joanshir, A. (2004). Resistance of spring wheat cultivars to salinity stress in vegetative and reproductive stages. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, *135*(1), 61-71.
9. Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental Biology*, *6*, 518-525. https://doi.org/10.22077/escs.2012.108
10. Bashan, Y., Holguin, G., & De-Bashan, L. E. (2004). Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). *Canadian Journal of Microbiology*, *50*, 521-577. https://doi.org/10.1139/w04-035
11. Bezabih, A., Girmay, G., & Lakewu, A. (2019). Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, *5*, 1-11. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1574109
12. Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H., & Mousavi Shalmani, M. A. (2012). Effect of irrigation water salinity on root traits of two salt-sensitive and salt-tolerant wheat cultivars and its relationship with yield in greenhouse. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, *2*(8), 95-106.
13. Copetta, A., Lingua, G., & Bert, G. (2006). Effect of three AM fungi on growth, distribution of glandular facilitation of plat phosphate acquisition by *Arbuscular mycorrhiza* from enriched soil patches roots and hyphae exploiting the same soil volume. *New Phytologist*, *133*(3), 453-460. https://doi.org/10.1007/s00572-006-0065-6
14. Dadashzadeh, S., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2018). Effects of bio-fertilizer and nano iron oxide on yield, chlorophyll content and modeling of some components of grain filling period of barley (*Hordeum vulgare* L.) under salinity stress levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*, 493-509. (in Persian). https://doi.org/10.22067/GSC.V16I2.68224
15. Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, *2*, 19-25. https://doi.org/10.1017/s0960258500001057
16. Eneji, A. E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., & Tsuji, W. (2008). Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, *31*(2), 355-365. https://doi.org/10.1080/01904160801894913
17. FAO. (2017). Food and agriculture organization of the united nation. Quaterly bulletin of Statistics. Remote, Italy.
18. Hassan Zadeh, A., Mazaheri, D., Chaichi, M. R., & Khawazi, V. (2016). The effectiveness of using phosphorus absorption bacteria and phosphorus chemical fertilizers on yield and yield components of barley. *Research and Construction*, *75*, 111-118.
19. Imtiaz, M., Rizwan, S., Mushtaq, M. A., Ashraf, M., Shahzad, S. M., & Yousaf, B. (2016). Silicon occurrence, uptake, transport and mechanisms of heavy metals, minerals and salinity enhanced tolerance in plants with future prospects: A review. *Journal of Environmental Management*, *183*, 521-529. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.009
20. Jongkaettana, S., Geng, S., Hill, J. E., & Miler, B. C. (1993). Within panicle variability of grain in rice cultivars with different maturities. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *171*(4), 236-242. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1993.tb00135.x
21. Kamari, H., & Seyed Sharifi, R. (2017). Effects of Nano-Zinc oxide and plant growth promoting rhizobacteria on zinc and protein content, phosphatase activity and related traits to grain growth of Triticale. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *6*(1), 151-163. (in Persian). https://doi.org/10.22034/IJSST.2017.113549
22. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R., & Jalilian, J. (2017). Study the interaction of cycocel and bio-fertilizers on yield and some agro-physiological traits of wheat under soil salinity condition. *Journal of Environmental Stresses*

in Crop Sciences, *10*(3), 425-443. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2017.22.1010

23. Khanzadeh, P. (2016). *The effect of seed inoculation with cyclocel and biofertilizers on the duration of wheat grain filling period at different soil salinity levels*. Master's Thesis. Mohaghegh Ardabili University.
24. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *44*(1), 116-124. https://doi.org/10.15835/nbha44110224
25. Leon, A. E., Rubielo, A., & Anon, M. C. (1996). Use of Triticale Flours in Cookies: Quality Factors. *Cereal Chemistry*, *73*, 779-784.
26. Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. (2004). Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, *42*, 565-572. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.009
27. Mehdipour-Moghaddam, M. J., Emtiazi, G., & Salehi, Z. (2012). Enhanced auxin production by Azospirillum pure cultures from plant root exudates. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *14*, 985-994. http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2012.14.5.16.4
28. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of salinity, vermicompost, humic acid and seed inoculation with flavobacterim on grain filling of Triticale. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(2), 251-269. https://doi.org/10.22034/SAPS.2021.13108
29. Nabati, J., Kafi, M., Masoumi, A., & Mehrjerdi, M. (2013). Effect of salinity and silicon application on photosynthetic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *International Journal of Agricultural Science*, *3*(4), 483-492.
30. Nazari, Z., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of Bio fertilizers, nano silicon and water limitation on current photosynthesis and dry matter remobilization of Triticale. *Crop Physiology Journal*, *13*(51), 5-24.
31. Pan, B., Bai, Y. M., Leibovitch, S., & Smith, D. L. (1999). Plant growth promoting rhizobacteria and kinetin as ways to promot corn growth and and yield in a short growing season area. *European Journal of Agronomy*, *11*, 179-186. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00029-5
32. Rashidifard, A., Chorom, M., Norouzi Masir, M., & Roshanfekr, H. (2020). The effect of humic acid and zinc application on some vegetative traits and anti-oxidant enzymes of corn seedling under salinity stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *51*(9), 2393-2403. https://doi.org/ 10.22059/IJSWR.2020.303784.668638
33. Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Reserch*, *83*, 79-90. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9
34. Saleem, M., Nawaz, F., Hussain, M. B., & Ikram, R. M. (2021). Comparative effects of individual and consortia plant growth promoting bacteria on physiological and enzymatic mechanisms to confer drought tolerance in Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Scince and Plant Nutrition*, *21*, 3461-3474. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00620-y
35. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution*, *114*, 187-194. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3
36. Seleiman, M. F., Aslam, M. T., Alhammad, B. A., Hassan, M. U., Maqbool, R., Chattha, M. U., Khan, I., Gitari, O. S., Uslu, R., Roy, T., & Battaglia, M. L. (2021). Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 1-28. https://doi.org/10.32604/phyton.2022.017365
37. Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Bio fertilizers in Agronomy*. University of Mohaghrgh Ardabili press. Ardabil. Iran. 282 pp. (in Persian).
38. Shakouri, M. D., & Kermanshahi, H. (2007). Effect of enzyme supplement to wheat and triticale based - diets on performance and digestive tract characteristics of broiler chickens. *Journal of Water and Soil Science*, *11*(40), 351-361. https://doi.org/20.1001.1.24763594.1386.11.40.29.9
39. Taibi, K., Taibi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhodja, M., & Mulet, J. M. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. South African. *Journal of Botany*, *105*, 306-312. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.011
40. Yan, G., Nikolic, M., Ye, M., Xiao, Z., & Liang, Y. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(10), 2138-2150. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4